

# Régénération du pin d'Alep en Basse Provence

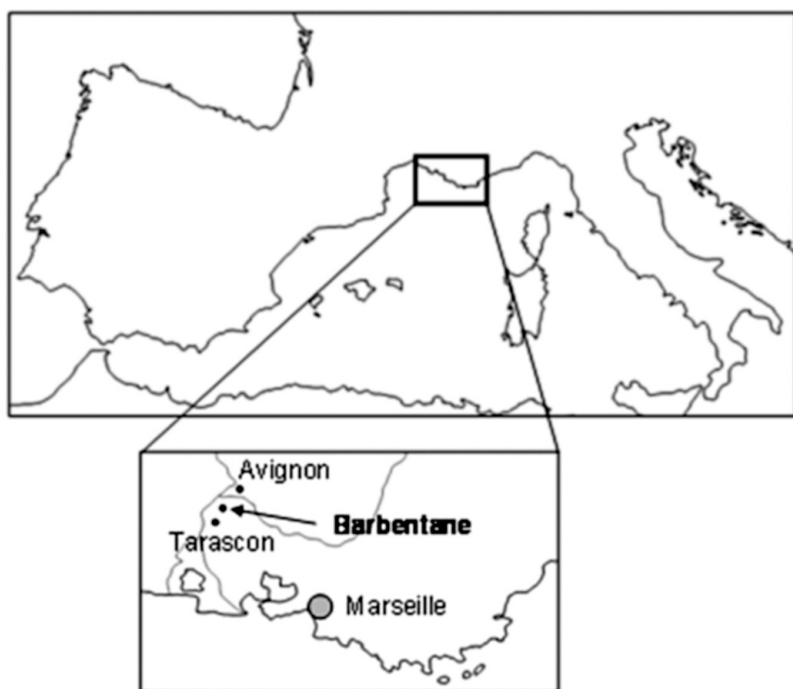
## Impact des traitements du sol, de la végétation et des rémanents

par Bernard PRÉVOSTO, Christian RIPERT, Guillaume FAVAND,  
Jean-Michel LOPEZ, Roland ESTÈVE, Willy MARTIN, Aminata N'DIAYE

***Le pin d'Alep est une essence pionnière majeure des régions méditerranéennes. Elle permet une reconquête des milieux après incendie ou sur les terres abandonnées. Cependant, sa régénération, une fois les peuplements installés et vieillissants, pose problème. Cet article présente les résultats de l'impact de différents traitements de la végétation, du sol et des rémanents sur la régénération du pin d'Alep.***

Le pin d'Alep est une essence forestière majeure dans le Bassin méditerranéen, puisqu'elle couvre plus de 250 000 km<sup>2</sup> (QUÉZEL, 2000). Conifère expansionniste typique, ce résineux est particulièrement résistant aux stress hydriques et peut se développer dans une large gamme de conditions écologiques (QUÉZEL, 2000 ; BARBÉRO *et al.*, 2000). L'expansion naturelle de ce résineux s'opère selon deux schémas : une dynamique post-incendie et une dynamique de colonisation spontanée, hors incendie. La première se traduit par des boucles d'auto-succession (BARBÉRO *et al.* 2000 ; TRABAUD, 1994) liées à la capacité de l'espèce à se régénérer après un feu. Cet aspect a d'ailleurs été largement étudié pour les aspects biologiques (Cf. la revue bibliographique de NE'EMAN *et al.*, 2004). En l'absence d'incendie, le pin d'Alep colonise facilement les terres à l'abandon, du fait de ses caractéristiques d'arbre pionnier (NATHAN et NE'EMAN, 2004). Cette expansion naturelle constitue une composante majeure de l'accroissement des surfaces forestières en région Provence-Alpes-Côte d'Azur où le pin d'Alep est la seconde essence la plus représentée (environ 200 000 ha).

Cependant, la sylviculture de cette essence en région méditerranéenne pose encore de nombreuses interrogations. En particulier, les peuplements âgés de pin d'Alep ne se régénèrent pas toujours facilement dans le cadre de la gestion traditionnelle (hors incendie). Les gestionnaires sont alors désireux de connaître les techniques à mettre en



**Fig. 1 :**  
Localisation du site

**Tab. I :**  
Caractéristiques climatiques moyennes (période 1961-1996).  
m : moyenne des minima du mois le plus froid,  
M : moyenne des maxima du mois le plus chaud

\* D'après Gaussen :  
nombre de jour de sécheresse

\*\* Exprime la sécheresse globale d'un climat en comparant les dépenses et les gains en eau.

$$Q2 = \frac{2000 P}{(M+m+546) (M-m)}$$

œuvre pour faciliter la régénération naturelle de ces pinèdes. En effet, le pin d'Alep, comme d'autres essences pionnières, ne possède pas la faculté de se régénérer sous son propre couvert sans que l'on sache avec précision les causes de ce phénomène (lumière, compétition par la végétation au sol, allélopathie<sup>1</sup>...).

C'est pour répondre à cette interrogation qu'un essai a été installé en Provence calcaire, dans une pinède mature venant de subir une coupe de régénération. Différents traitements de la végétation, du sol et des rémanents ont été testés afin de répondre aux questions suivantes :

– quels sont les traitements du sol et de la végétation les plus favorables à la régénération du pin d'Alep ?

– quels sont les facteurs liés à ces traitements qui permettent d'expliquer la densité de régénération en termes d'installation et de survie ?

## Le dispositif expérimental de Barbentane

### Le cadre naturel

Le dispositif est situé en forêt communale de Barbentane (Cf. Fig. 1) à l'extrême nord-ouest du département des Bouches-du-Rhône, dans le secteur géographique de la Montagnette.

Les caractéristiques climatiques sont indiquées dans le tableau I en prenant comme référence les postes météorologiques d'Avignon et de Tarascon.

Le climat peut être qualifié de subhumide à hiver frais (Emberger) avec des précipitations plutôt faibles et une sécheresse estivale marquée. Au cours de la période d'expérimentation (2005-2007), la pluviométrie moyenne annuelle a été de 30% inférieure à la normale et 2007 a été une année particulièrement déficitaire (389 mm) avec une longue période de sécheresse (133 mm de juillet à décembre).

Le site expérimental est situé sur une station assez représentative de la basse Provence calcaire (fertilité faible). Le matériau géologique parental est une formation marno-calcaire compacte en plaquettes de l'Hauterivien, qui constitue un sol superficiel de type rendzine composé d'un horizon holorganique plutôt épais (environ 10 cm), suivi d'une couche consécutive d'altérite (25 à 30 cm) avant d'atteindre la roche en place.

La topographie est celle d'un versant à pente modérée et parcouru par de petits talwegs qui lui confèrent un micro relief stationnel transversal ondulé. Le dispositif est installé en évitant les zones concaves qui diffèrent trop sur le plan du bilan hydrique par rapport à la moyenne du site.

### Le peuplement

Le peuplement sur le site est constitué d'une pinède de 90 ans, avec un sous-étage dominé par le buis et le chêne kermès et une présence moins marquée de la viorne tin et du romarin. La strate herbacée est composée, essentiellement, de brachypode rameux.

L'ensemble du peuplement a fait l'objet d'une coupe de régénération durant l'hiver

Pluie annuelle (mm)	Pluie estivale (mm)	Indice xérothermique* (nb de jours secs)	Nombre de mois froids	T° moy (°C)	m (°C)	M (°C)	Coef. Emberger**
674	119	60	0	14.21	1.90	30.21	82.37

1 – NDLR : Voir article sur ce sujet dans *Forêt Méditerranéenne* T. XXVIII, n°3, 2007, pp. 211-218.

2004-2005. Le dispositif s'étend sur 1,1 ha sur lequel les arbres ont été mesurés et cartographiés. Des mesures de la lumière transmise ont été également réalisées à l'aide de tubes solarimétriques (Cf. Tab. II).

## Les traitements

Dans le dispositif, deux traitements des rémanents, issus de la coupe de régénération, ont été testés : soit évacuation complète, soit couverture homogène de la zone à traiter. Ces rémanents, constitués par les branches issues du façonnage des houppiers de pin, ont été alors retirés de la zone « sans rémanents » et disposés manuellement dans la zone « avec rémanents » afin de couvrir, de la façon la plus homogène possible, l'ensemble de la surface.

Cinq traitements de la végétation et du sol ont ensuite été réalisés (Cf. Photos 1) :

- broyage mécanique de la végétation en place et des rémanents par un broyeur à marteaux fixes ;
- broyage suivi d'un crochetage simple à l'aide d'un scarificateur à dents permettant un travail du sol sur environ 20 cm ;
- broyage suivi d'un crochetage double (selon deux directions perpendiculaires) ;
- brûlage dirigé : la végétation a été brûlée sur place par une équipe spécialisée de l'ONF de la section départementale du Vaucluse. Lorsque les rémanents étaient présents le feu a été intense et toute la surface a été brûlée, alors qu'en leur absence le

Age moyen (ans)	Densité (n/ha)	Diamètre à 1,30 (cm)	Circonférence à 1,30 (cm)	Hauteur moyenne (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	% de lumière transmise
90	210	27,6 (8,1)	86,7 (25,6)	12,7 (2,1)	11,6	70 % (18%)

feu a été de faible intensité et n'a parcouru qu'une partie de la surface à traiter (Cf. photos) ;

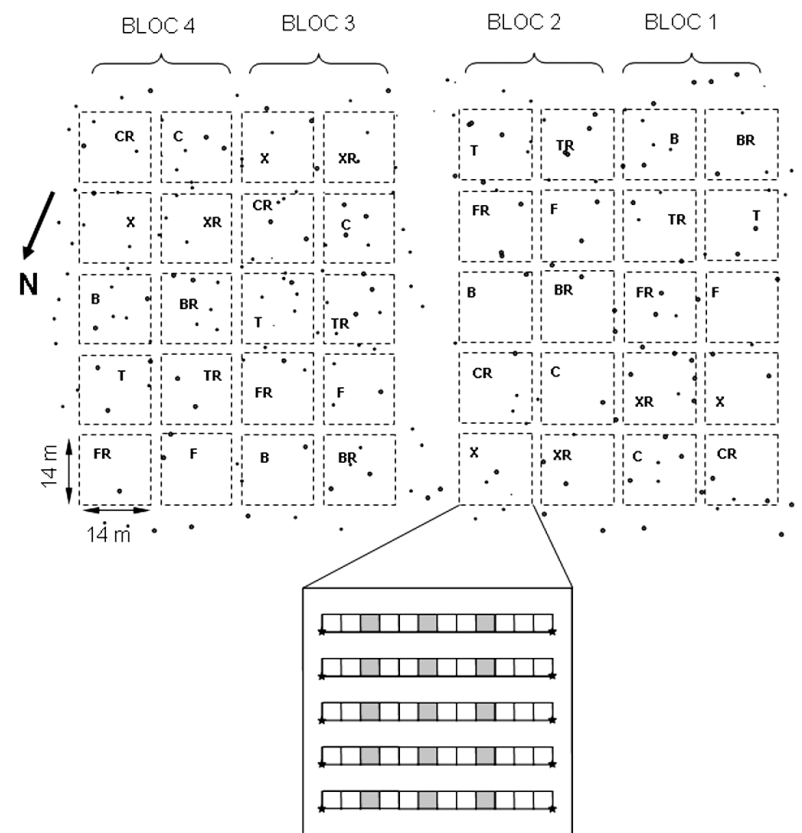
- un témoin a été conservé également pour identifier l'impact des seuls abattage et débardage, sans autre intervention.

Les dix traitements résultant de la combinaison des deux pour les rémanents et des cinq pour la végétation et le sol, ont été mis en œuvre entre février et mai 2005 sur des parcelles de 14 m X 14 m et répliqués 4 fois dans 4 blocs de 34 m X 82 m (Cf. Fig. 2A).

Dans l'expérimentation le facteur « pluie de graines » n'est pas contrôlé, car il est très difficile de mesurer de façon fiable une pluie de graines par piégeage direct. Cette pluie

**Tab. II :**  
Caractéristiques du peuplement de pin d'Alep, après coupe de régénération, sur le site expérimental : valeurs moyennes et écarts-types entre parenthèses.

**Fig. 2 :**  
A - Schéma d'ensemble du dispositif de Barbentane. Les lettres correspondent aux traitements mis en œuvre dans chaque parcelle de 14 m X 14 m : B = broyage, F = Feu, C = Broyage + Crochetage, X = Broyage + Crochetage double, T = Témoin, R = Rémanents présents. (ex CR : broyage + crochetage simple avec rémanents). Les points représentent les semenciers et leur taille est proportionnelle au diamètre des pins (mais n'est pas à l'échelle des parcelles). Les blocs 1 et 2 sont séparés des blocs 3 et 4 par un petit talweg (non représenté ici).  
B - Détail d'une parcelle. Chaque parcelle contient cinq transects découpés en 12 placeaux de 1 m<sup>2</sup>. Seuls les placeaux en gris (3 / transect sauf Témoin 2 / transect) ont fait l'objet de relevés de la régénération naturelle de pin et de la description de la surface du sol.







est en effet très variable dans l'espace (nécessité de très nombreuses répétitions) et dans le temps (présence pour les pins d'années de forte production et d'années de faible production). Aussi, dans de nombreuses études, l'apport en graines par les arbres est souvent estimé à partir de la surface terrière des semenciers par relation linéaire simple. En tenant compte dans chaque parcelle des semenciers présents sur la parcelle et dans une zone de 5 m autour, on a établi qu'il n'y avait pas de variations significatives entre les traitements, ni du nombre de semenciers, ni de la surface terrière.

On a donc supposé que la pluie de graines pouvait être considérée comme homogène sur le dispositif.

### Les mesures

Dans chaque parcelle, 15 placeaux (quadrat) de 1 m<sup>2</sup> ont été installés le long de 5 transects de 12 m de long exceptés dans le traitement « témoin avec rémanents » où seuls 10 placeaux ont été mis en place (Cf. Fig. 2B). Sur la totalité des 580 placeaux, une grille de 1 m<sup>2</sup>, divisée en 25 carrés de 25 X 25 cm, a été utilisée pour dénombrer et repérer les semis de pin, permettant ainsi un suivi individuel de chaque semis au cours du temps. Le premier comptage a été réalisé en décembre 2005, puis deux fois chaque année en 2006 et 2007 : à la fin du printemps (juin) et de l'automne (décembre).

Lors des comptages de fin d'année, une description de la surface du sol a été réalisée (Cf. Photos 2) en distinguant les différents éléments : sol nu et couche humifère ; cailloux et roches ; mousse ; broyat gros ( $\geq 2$  cm) ; litière et broyat fin ( $< 2$  cm) ; recouvrements en herbacées et ligneux bas. Ces derniers ont été classés selon l'échelle Braun-Blanquet suivante : 1 = présent ; 2  $\leq 5$  % ; 3 = [5-25] ; 4 = [25-50] ; 5 = [50-75] et 6 = [75-100].



#### Photos 1 :

Le dispositif expérimental de Barbantane (13) :

- en haut : vue de la pinède avant travaux,
- au milieu : vue après le broyage (au premier plan avec rubalise zone témoin),
- en bas : brûlage dirigé avec rémanents par l'équipe spécialisée de l'ONF Vaucluse.

Photos C. Ripert/Cemagref



## Les résultats

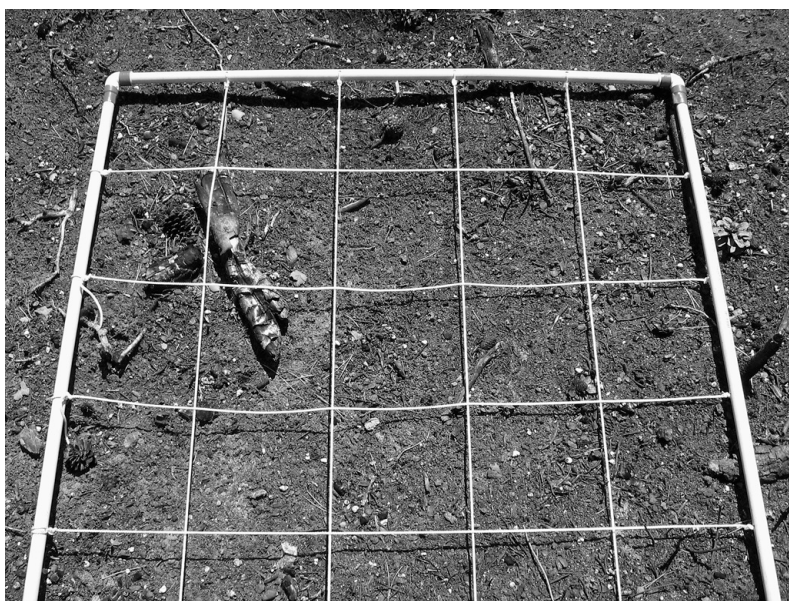
### Sur l'installation et la survie des semis

La densité moyenne de semis vivants en fonction des traitements est présentée figure 3. Elle augmente (tous traitements confondus) au cours des deux premières années passant de 1,04 semis/m<sup>2</sup> en 2005 à 2,09 semis/m<sup>2</sup> fin 2006 ; l'installation a lieu principalement durant l'automne qui est aussi la saison la plus pluvieuse. Par contre la densité chute brutalement à 1,25 semis/m<sup>2</sup> en 2007 en raison de la mortalité induite par une sécheresse estivale et automnale, prononcée cette année-là.

Tous les traitements réalisés améliorent l'obtention d'une régénération par rapport au témoin qui présente une densité très faible (0,17 semis/m<sup>2</sup>) sans rémanents ou quasi nulle en leur présence. Dans nos conditions expérimentales, les crochétages et le brûlage avec rémanents apparaissent comme les traitements les plus favorables, alors que la densité de semis est faible dans les broyages et dans le brûlage sans rémanents. Au cours du temps, le classement des traitements entre eux est resté à peu près constant avec cependant une progression de la densité de semis plus marquée dans la modalité feu avec rémanents.

La densité observée à un instant donné est le résultat d'un processus d'apparition des semis et d'un processus de survie : une même densité peut être ainsi obtenue avec une émergence forte et une survie faible ou avec une émergence plus faible mais une meilleure survie.

Nous avons donc calculé la capacité « d'émergence » comme la quantité totale de semis apparus ayant ou non survécus. Les résultats (Cf. Fig. 4) montrent que le classement des traitements reste à peu près inchangé, avec toutefois une émergence plus



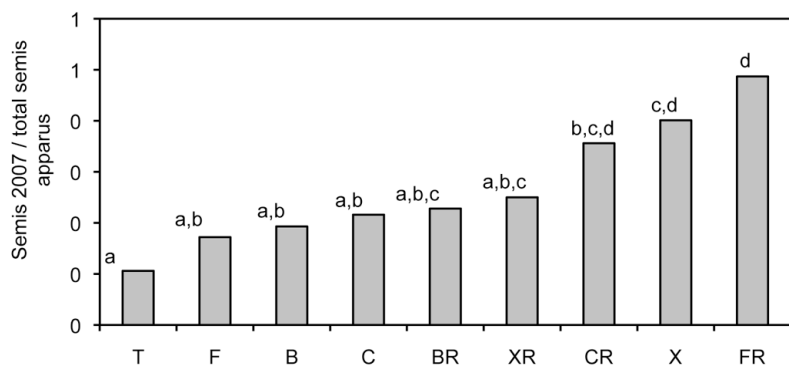
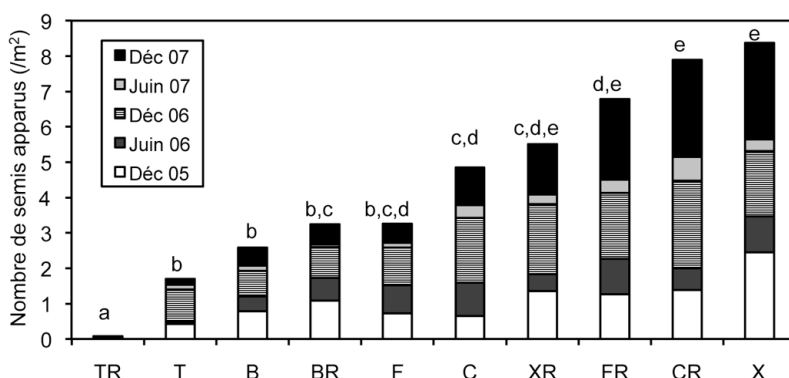
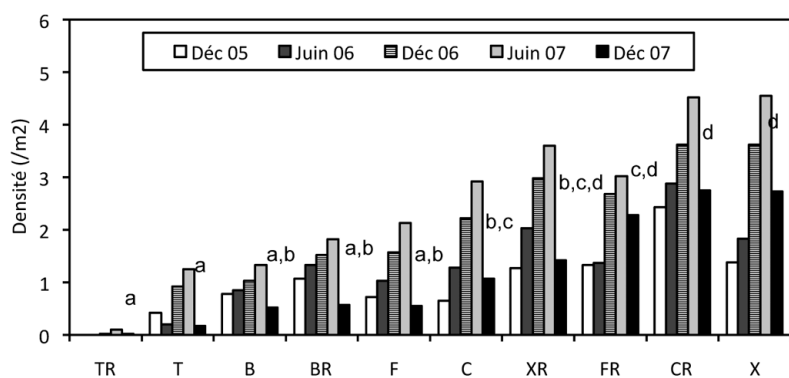
#### Photos 2 :

Description de la surface du sol avec un cadre de 1 m de côté :

- en haut : brûlage dirigé avec rémanents,
- au milieu : broyage avec rémanents,
- en bas : broyage sans rémanents suivi d'un crochétage simple

Photos C. Ripert/Cemagref





**De haut en bas : Fig. 3 :**

Densité de plantules vivantes de pin, par type de traitement, pour les différentes dates de relevés. Une lettre identique entre traitements indique une absence de différence significative (test de Nemenyi à 95%, pour la dernière date de relevé).

B = broyage, F = feu, C = broyage + crochetage, X = broyage + crochetage double, T = Témoin ; la lettre R indique la présence de rémanents.

**Fig. 4 :**

Nombre total de semis apparus (indépendamment de leur survie) à chaque date par type de traitement. Une lettre identique entre traitements indique une absence de différence significative (test de Nemenyi à 95%, pour la dernière date de relevé).

**Fig. 5 :**

Taux de survie calculé comme le ratio entre le nombre de semis vivants en 2007 par le nombre total de semis apparus. Le taux varie de 0 (aucune survie) à 1 (survie maximale). Le traitement TR n'est pas inclus en raison de nombreuses valeurs nulles de densités

forte dans les scarifications que dans le brûlage avec rémanents, hormis pour la modalité crochetage simple sans rémanents.

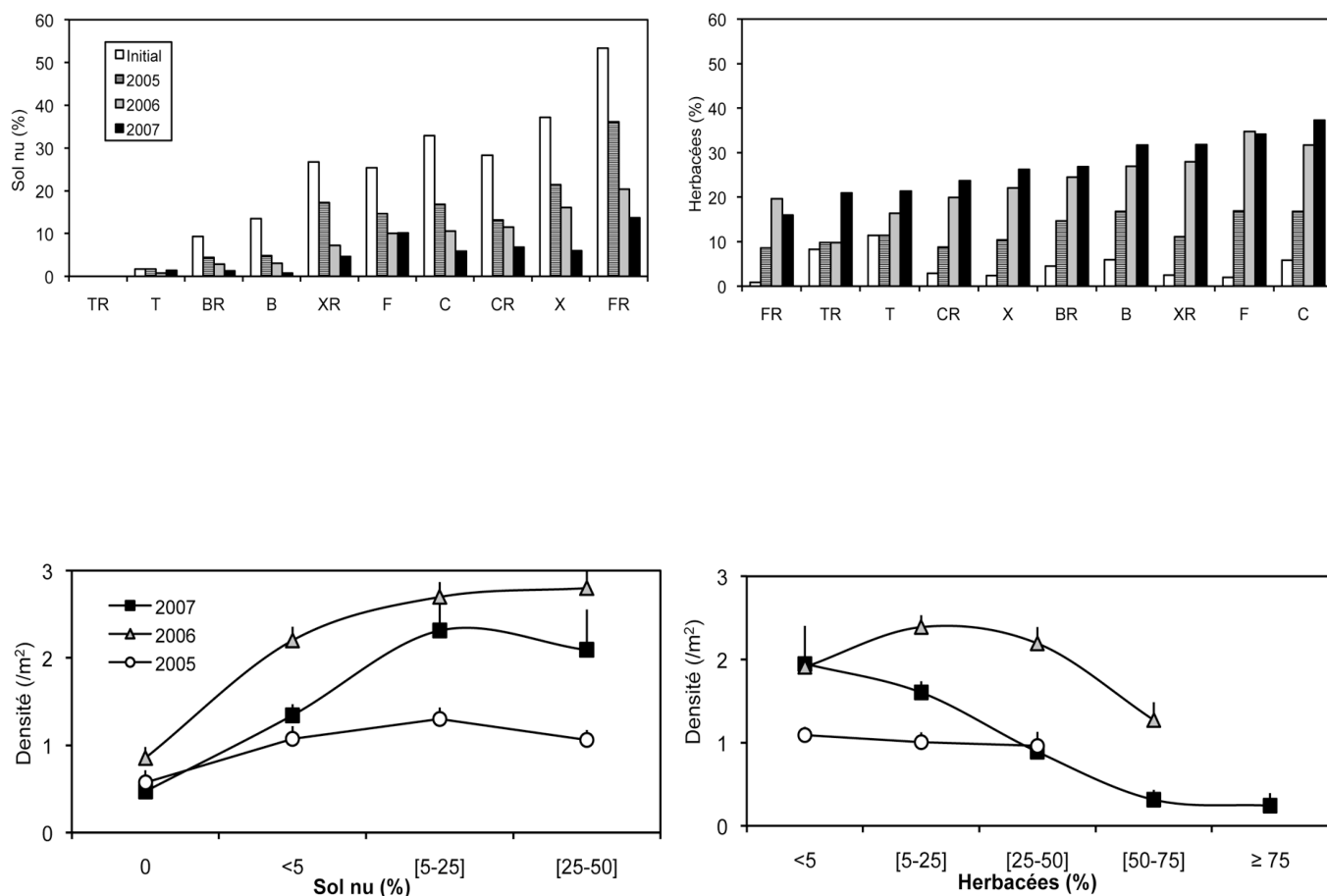
Pour caractériser la capacité de survie dans chaque traitement nous avons calculé le ratio entre le nombre de semis vivants à la dernière date de relevé par le nombre total de semis apparus. Ce ratio varie donc dans l'absolu entre 1 : tous les semis apparus ont survécu et 0 : aucun semis n'a survécu. Les résultats (Cf. Fig. 5) montrent que le brûlage avec rémanents présente le ratio le plus élevé indiquant une survie plus forte des semis dans ce traitement. De plus, excepté pour la scarification double, on note un taux de survie plus fort dans les traitements avec rémanents que dans les traitements sans rémanents.

### **Description de la surface du sol : relation avec la densité**

Parmi les éléments de la surface du sol qui ont été décrits, ce sont le taux de sol nu et le recouvrement par des herbacées qui influencent le plus la régénération (Cf. Fig. 6). Le taux de sol nu est particulièrement abondant, la première année, dans le traitement feu avec rémanents et dans les traitements avec crochetages. Le taux de sol nu, qui diminue logiquement au cours des trois années, est corrélé fortement et positivement avec la densité en semis de pin. La couverture herbacée, à l'inverse du sol nu, est faible la première année, mais augmente très fortement par la suite. Elle est maximale dans les traitements avec crochetage simple et feu sans rémanents, mais minimale dans le traitement feu avec rémanents. Le recouvrement en herbacées, essentiellement des graminées (notamment le brachypode rameux), est négativement corrélé avec la densité en semis de pin.

### **Discussion**

Cette étude visait à identifier les traitements de la végétation, du sol et des rémanents, les plus favorables à la régénération naturelle du pin d'Alep après coupe d'ensemencement.



### L'effet des traitements

Parmi les différents traitements testés, c'est le broyage suivi du crochetage qui s'avère être le plus efficace pour l'acquisition de la régénération et son maintien.

C'est d'ailleurs un traitement largement utilisé dans les travaux de régénérations forestières, bien qu'à notre connaissance, rarement testé sur les pins méditerranéens. Le crochetage permet en effet d'offrir un fort pourcentage de sol nu et le contact ainsi favorisé entre le sol et la graine permet une meilleure germination. La décompaction du sol permet aussi un enracinement plus facile et, ainsi, un meilleur approvisionnement en eau (LINCOLN *et al.*, 2007) facilitant la croissance et la survie du semis. Le fort pourcentage de cailloux trouvé en surface dans ce type de traitement, du fait de la fracturation de la dalle rocheuse peu profonde et de la remontée de cailloux par le crochetage, peut aussi jouer un rôle en limitant l'évaporation (JIMENÉZ *et al.*, 2007). Il faut cependant

souligner deux remarques importantes pour ce traitement :

- nous n'avons pas trouvé, dans cette étude, de différence significative entre crochetage simple et double, mettant ainsi en évidence que, sur ce type de station, un travail du sol plus intense ne conduit pas à une régénération plus abondante ;

- la progression des herbacées est forte, aussi, une étude sur un temps plus long serait-elle nécessaire pour suivre la survie de la régénération en fonction du développement de la végétation concurrente.

Le brûlage dirigé présente, quant à lui, deux effets contrastés sur la régénération en fonction de la présence ou non de rémanents, car ceux-ci déterminent l'intensité du feu. Le brûlage avec rémanents, de forte intensité, induit une destruction totale de la partie aérienne de la strate végétale et, pour partie, dans son compartiment souterrain (racines, graines). Par conséquent, la reprise de la végétation y est plus tardive et le sol nu peut

**Fig. 6 :**

Graphes du haut : taux de sol nu et recouvrement en herbacées pour les différents traitements en fonction des dates. Graphes du bas : relation entre la densité de semis et le taux de sol nu et la couverture en herbacées (en classes) pour les trois années de mesure.

Bernard PRÉVOSTO  
Christian RIPERT  
Guillaume FAVAND  
Jean-Michel LOPEZ  
Roland ESTÈVE  
Willy MARTIN  
Aminata N'DIAYE  
Cemagref  
UR Ecosystèmes  
méditerranéens  
et risques  
3275 route Cézanne  
BP 31 Le Tholonet  
CS 40061  
13182 Aix-en-  
Provence cedex 5  
Tél. : 04 42 66 99 25  
Fax : 04 42 66 99 23  
Mél : bernard.  
prevosto@cemagref.fr

persister plus longtemps, toutes choses très favorables à l'acquisition et au maintien d'une forte régénération. A l'inverse, le brûlage de faible intensité, observé dans le traitement sans rémanents, est suivi par une repousse forte de la végétation en particulier du brachypode rameux très présent dans notre essai et très concurrentielle vis-à-vis de l'installation et de la survie des semis de pin.

Le broyage seul est aussi un traitement peu favorable à la régénération. Le broyage laisse au sol une couche de débris organiques qui crée une barrière pour le contact sol-graine et donc pénalise l'installation des plantules, sans toutefois interdire la reprise de la végétation concurrente dont la partie racinaire n'a pas été affectée par le traitement. Il se peut également que certains composés produits par la litière et la décomposition du broyat au sol exercent une influence négative sur la germination et la croissance des semis par effet allélopathique (BONIN *et al.*, 2007).

### **L'effet des rémanents**

La présence ou l'absence de rémanents d'exploitation au sol influe sur l'abondance de la régénération. L'effet est particulièrement net pour le brûlage comme on l'a vu plus haut, car l'apport de combustible par les rémanents augmente fortement l'intensité du feu.

Pour le crochitage simple, la régénération est plus dense en présence de rémanents et cet effet est significatif pour les trois années de mesure. Ce constat peut s'expliquer par les nombreux cônes dans les rémanents dont l'éclatement après travaux peut constituer un apport supplémentaire de graines. Cet effet n'est pas observable dans le crochitage double probablement parce que l'enfouissement plus profond de cette source de graines lors des travaux la rend pour partie indisponible pour la régénération.

## **Conclusion**

La scarification du sol après broyage est favorable à l'acquisition et au maintien d'une régénération naturelle. Ceci confirme l'intérêt d'un traitement déjà régulièrement pratiqué dans la sylviculture des pinèdes en zone tempérée. Par ailleurs, si les impératifs de la DFCI le permettent, il est préférable de laisser au sol les rémanents de la coupe constitués par les branches portant des cônes plutôt que de les exporter. Ils représentent en effet une source de graines supplémentaire qui favorise l'émergence des semis au moins la première année.

Aussi, le feu dirigé apparaît-il comme un outil intéressant vis-à-vis de la régénération, à condition d'effectuer un brûlage suffisamment intense. Un feu trop modéré conduit en effet à dynamiser la végétation herbacée notamment et donc à réduire les possibilités d'installation et de survie pour les semis.

Enfin, il faut rappeler que l'abondance de la régénération naturelle dépend aussi largement de conditions climatiques favorables (pluviométrie) et de la production suffisante de graines par les semenciers, celle-ci étant irrégulière dans le temps. C'est la conjonction de tous ces facteurs avec le travail du sol qui va moduler l'abondance de la régénération.

## **Remerciements**

Cette étude a bénéficié du soutien financier de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Les auteurs remercient l'Office national des forêts, et en particulier M. Sébastien Bataille, la Commune de Barbentane et le Comité Feu de Barbentane pour leur aide.



## Bibliographie

- Barbéro M., Loisel R., Quézel P., Richardson D.M., Romane F., 2000. Pines of the Mediterranean Basin. In : Richardson, D.M. (ed.). Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge university Press, pp. 153-170.
- Bonin G., Bousquet-Mélou A., Lelong B., Voiriot S., Nozay S., Fernandez C., 2007. Expansion du pin d'Alep. Rôle des processus allélopathiques dans la dynamique successione. *For. Médit.* XXVIII(3) : 211-218
- Jiménez M.N., Fernandez-Ondoño E., Ripio M.A., Navarro F.B., Gallego E., De Simón E., Lallena A.M., 2007. Influence of different post-planting treatments on the development in Holm oak afforestation. *Trees*, 21: 443-455.
- Lincoln M.C. et al., 2007. Soil change and loblolly pine (*Pinus taeda*) seedling growth following site preparation tillage in the Upper Coastal Plain of the southeastern United States. *For Ecol. Manage.*, 242: 558-568.
- Quézel P., 2000. Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P brutia*). In Ne'eman, G., Trabauds L. (eds). Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. Brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Publishers, Leiden, pp 1-12.
- Trabaud, L., 1994. Postfire plant community dynamics in the Mediterranean Basin. In : Moreno, J.M., Oechel W.M. (eds). The role of fire in Mediterranean-type ecosystems. Springer, New-York, pp 1-15.
- Nathan R., Ne'eman G., 2004. Spatiotemporal dynamics of recruitment in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller). *Plant Ecol.*, 171: 123-137.
- Ne'eman G., Goubitz S., Nathan R., 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire - a critical review. *Plant Ecol.*, 171: 69-79.

## Résumé

Ce travail vise à étudier l'impact de différents types de travaux de la végétation et du sol ainsi que le rôle des rémanents sur la régénération du pin d'Alep. Après une coupe de régénération dans une pinède âgée, les travaux suivants ont été testés : broyage mécanique de la végétation, broyage suivi d'un crochitage simple ou double, brûlage contrôlé et témoin. L'effet des rémanents a été testé selon deux modalités : les branches issues de la coupe d'éclaircie du peuplement ont été soit éliminées, soit réparties de façon homogène sur la surface à traiter avant travaux. Les dix traitements résultants ont été mis en œuvre sur quatre blocs pour une surface totale de 1,1 ha. Pendant trois ans, de 2005 à 2007, les semis de pin ont été dénombrés et la répartition en classe de recouvrement des différents éléments du sol notés sur un total de 580 placeaux de 1 m<sup>2</sup>.

Les résultats ont montré une progression du nombre moyen de semis de pin lors des deux premières années (1,04 et 2,09 semis/m<sup>2</sup>) mais une baisse en 2007 (1,25 semis/m<sup>2</sup>) en raison d'une forte sécheresse. Les crochitages et le brûlage dirigé avec rémanents se sont révélés les traitements présentant la régénération la plus abondante en lien avec un taux de sol nu élevé. Le brûlage dirigé sans rémanents a en revanche favorisé le développement de la végétation concurrente au sol et présente une faible densité de semis tout comme le broyage seul. La présence de rémanents au sol est corrélée avec une plus forte densité de semis pour le crochitage simple, sans doute en raison de l'apport de graines supplémentaire lié aux cônes présents dans les rémanents.

Un suivi à plus long terme sera nécessaire pour étudier la pérennité de la régénération en lien avec le développement de la végétation concurrente.

## Summary

---

### Allepo pine stand regeneration on limestone soils in Provence (S-E France): impact of treatments of soil, vegetation and slash

This study aims at analyzing the impact of different treatments of soil and vegetation as well as logging slash on Aleppo pine regeneration. In a mature pine stand, the five following treatments were tested: chopping of the ground vegetation, chopping and soil scarification in one or two directions, controlled burning and a control plot. Two different slash treatments were also used before the soil and vegetation treatments: total removal of slash or slash spread over the area to be treated. The ten resulting treatments were tested using four blocks making up a total area of 1.1 ha. Counting of pine seedlings and soil classification based on cover classes were carried out over three years on 580 one-square-meter plots.

Results showed an increase of the mean seedling density the two first years (1.04 and 2.09 seedling/m<sup>2</sup>) but a decline the last year (1.25 seedling/m<sup>2</sup>) due to a severe drought period.

Soil scarification in one or two directions and controlled burning with slash enhanced pine self-seeding linked to high levels of bare soil. By contrast, controlled burning without slash exhibited a much lower pine density while favoring fast grass /weed development. Chopping also proved to be unfavourable to seedling emergence and survival. Slash presence was associated with greater seedling abundance for one-direction scarification, probably due to the seeds contained in the cones of the slash.

The study showed the importance of mechanical treatments — in particular scarification — to favour pine self-seeding. However, a longer period of data recording is required to analyze the response of pine seedlings to ground vegetation development in the coming years.

## Riassunto

---

### Rigenerazione del pino d'Aleppo in bassa Provenza Impatto dei trattamenti del suolo, della vegetazione e dei rimanenti

Questo lavoro mira a studiare l'impatto di diversi tipi di lavori della vegetazione e del suolo come del ruolo dei rimanenti sulla rigenerazione del pino d'Aleppo. Dopo un taglio di rigenerazione in una pineta anziana, i lavori seguenti sono stati provati : frantumazione meccanica della vegetazione, frantumazione seguita di un uncinamento semplice o doppio, debbio controllato e testimone. L'effetto dei rimanenti è stato provato secondo due modalità : i rami provenendo del taglio di radura del popolamento sono stati sia eliminati, sia ripartiti in modo omogeneo sull'area da trattare prima i lavori. I dieci trattamenti risultanti sono stati messi in opera su quattro blocchi per una superficie di 1,1 ha. Durante tre anni, dal 2005 al 2007, i semini di pino sono stati computati e la ripartizione in classe di ricopri-mento dei diversi elementi del suolo notati su un totale di 580 piazzetti di 1 m<sup>2</sup>.

I risultati hanno mostrato una progressione del numero medio di semini di pino durante i due primi anni (1,04 e 2,09 semini/m<sup>2</sup>) ma un abbassamento nel 2007 (1,25 semini/m<sup>2</sup>) in ragione della forte siccità. Gli uncinamenti e il debbio controllato con rimanenti si sono rivelati i trattamenti presentando la rigenerazione più abbondante in legame con un tasso alto di suolo nudo. Il debbio controllato senza rimanenti ha invece favorito lo sviluppo della vegetazione concorrente al suolo e presenta una debole densità di semini proprio come la frantumazione sola. La presenza di rimanenti sul suolo è correlato con una più forte densità di semini per l'uncinamento semplice, senza dubbio in ragione dell' apporto di semi supplementari legati alle pigne presenti nei rimanenti.

Un seguito a termine più lungo sarà necessario per studiare la perennità della rigenerazione in legame collo sviluppo della vegetazione concorrente.